

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-238655

(43)Date of publication of application : 05.09.2000

(51)Int.Cl.

B62D 6/00
B62D 5/04
// B62D119:00

(21)Application number : 11-231345

(71)Applicant : NSK LTD

(22)Date of filing : 18.08.1999

(72)Inventor : ENDO SHUJI
CHIN SATOSHI

(30)Priority

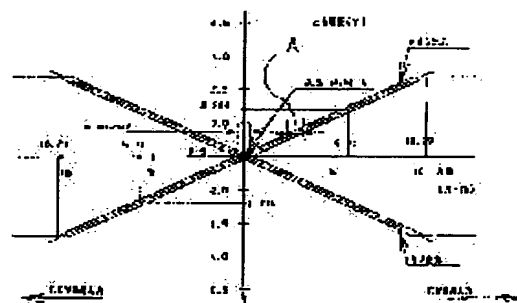
Priority number : 10366553 Priority date : 24.12.1998 Priority country : JP

(54) CONTROL DEVICE OF MOTOR-DRIVEN POWER STEERING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize high output and size reduction of a motor of a device by restraining the ratio of a torque fluctuation to average torque within a specific rate in a torque ripple of the motor, and setting a hysteresis width and a response frequency of a torque detecting means and a frequency band of torque control to a specific value.

SOLUTION: A torque ripple is caused by nonuniformity of a magnetic flux and turbulence of rectification. Among these, torque caused by turbulence of rectification is reduced to the possible minimum level, and the torque ripple caused by nonuniformity of the magnetic flux is allowed up to a controllable level (within 10% of the ratio of a torque fluctuation to average torque). A driver can feel torque pulsation not less than 0.3 N.m on a steering wheel shaft up to a frequency not more than 60 Hz. Thus, detecting hysteresis of a torque sensor is set not more than 0.3 N.m ($A \leq 0.3$ N.m), a response frequency is set not more than 20 Hz, and the torque ripple is detected to correct the influence by a control system. A frequency band of a torque control system is set not less than at least 20 Hz.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.12.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 02.10.2001

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3298006

[Date of registration] 19.04.2002

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection] 2001-19353

[Date of requesting appeal against examiner's decision] 30.10.2001

BEST AVAILABLE COPY

of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3298006号

(P3298006)

(45) 発行日 平成14年7月2日(2002.7.2)

(24) 登録日 平成14年4月19日(2002.4.19)

(51) Int.Cl.⁷ 識別記号

B 6 2 D 6/00

5/04

// B 6 2 D 119:00

F I

B 6 2 D 6/00

5/04

119:00

請求項の数3(全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平11-231345

(22) 出願日 平成11年8月18日(1999.8.18)

(65) 公開番号 特開2000-238655(P2000-238655A)

(43) 公開日 平成12年9月5日(2000.9.5)

審査請求日 平成11年12月15日(1999.12.15)

(31) 優先権主張番号 特願平10-366553

(32) 優先日 平成10年12月24日(1998.12.24)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

前置審査

(73) 特許権者 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 遠藤 修司

群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内

(72) 発明者 陳 慧

群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内

(74) 代理人 100078776

弁理士 安形 雄三

審査官 大谷 謙仁

(56) 参考文献 特開 平8-119132 (J P, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動パワーステアリング装置の制御装置

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ステアリングシャフトに発生する操舵トルクに基いて演算された操舵補助指令値と、モータの電流値とから演算した電流制御値に基いてステアリング機構に操舵補助力を与える前記モータを制御するようになっている電動パワーステアリング装置の制御装置において、操舵時のトルクリップル感を抑制制御し得るよう
に、前記モータのトルクリップルをトルク変動対平均トルクの比率の10%以内である制御レベルに抑えるよう
にすると共に、前記操舵トルクを検出するトルク検出手段のヒステリシス幅が0.3N・m以内で応答周波数が20Hz以上であり、前記制御装置におけるトルク制御の周波数帯域をリップル感として感じない範囲の20Hz以上としたことを特徴とする電動パワーステアリング装置の制御装置。

2

【請求項2】 前記モータが直流モータである請求項1に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項3】 前記モータがブラシレスモータである請求項1に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、自動車や車両の操舵系にモータによる操舵補助力を付与するようにした電動パワーステアリング装置の制御装置に関し、特に直流モータ又はブラシレスモータのいずれに対しても、トルクリップルを低減して操舵感を向上するようにした電動パワーステアリング装置の制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 自動車や車両のステアリング装置をモータの回転力で補助負荷付勢する電動パワーステアリング

3

装置は、モータの駆動力を減速機を介してギア又はベルト等の伝達機構により、ステアリングシャフト或いはラック軸に補助負荷付勢するようになっている。かかる従来の電動パワーステアリング装置は、アシストトルク

(操舵補助トルク)を正確に発生させるため、モータ電流のフィードバック制御を行なっている。フィードバック制御は、電流制御値とモータ電流検出値との差が小さくなるようにモータ印加電圧を調整するものであり、モータ印加電圧の調整は、一般的にPWM(パルス幅変調)制御のデューティ比の調整で行なっている。

【0003】ここで、電動パワーステアリング装置の一般的な構成を図20に示して説明すると、操向ハンドル1の軸2は減速ギア3、ユニバーサルジョイント4a及び4b、ピニオンラック機構5を経て操向車輪のタイロッド6に結合されている。軸2には、操向ハンドル1の操舵トルクを検出するトルクセンサ10が設けられており、操向ハンドル1の操舵力を補助するモータ20がクラッチ21、減速ギア3を介して軸2に結合されている。パワーステアリング装置を制御するコントロールユニット30には、バッテリー14からイグニッションキー11及びリレー13を経て電力が供給され、コントロールユニット30は、トルクセンサ10で検出された操舵トルクTと車速センサ12で検出された車速Vとに基づいてアシスト指令の操舵補助指令値Iの演算を行ない、演算された操舵補助指令値Iに基づいてモータ20に供給する電流を制御する。クラッチ21はコントロールユニット30でON/OFF制御され、通常の動作状態ではON(結合)されている。そして、コントロールユニット30によりパワーステアリング装置が故障と判断された時、及びイグニッションキー11、リレー13によりバッテリー14の電源(電圧Vb)がOFFとなっている時に、クラッチ21はOFF(切離)される。

【0004】コントロールユニット30は主としてCPUで構成されるが、そのCPU内部においてプログラムで実行される一般的な機能を示すと図21のようになる。例えば位相補償器31は独立したハードウェアとしての位相補償器を示すものではなく、CPUで実行される位相補償機能を示している。コントロールユニット30の機能及び動作を説明すると、トルクセンサ10で検出されて入力される操舵トルクTは、操舵系の安定性を高めるために位相補償器31で位相補償され、位相補償された操舵トルクTAが操舵補助指令値演算器32に入力される。又、車速センサ12で検出された車速Vも操舵補助指令値演算器32に入力される。操舵補助指令値演算器32は、入力された操舵トルクTA及び車速Vに基づいてモータ20に供給する電流の制御目標値である操舵補助指令値Iを決定する。操舵補助指令値Iは減算器30Aに入力されると共に、応答速度を高めるためのフィードフォワード系の微分補償器34に入力され、減算器30Aの偏差(I-i)は比例演算器35に入力さ

4

れ、その比例出力は加算器30Bに入力されると共にフィードバック系の特性を改善するための積分演算器36に入力される。微分補償器34及び積分演算器36の出力も加算器30Bに加算入力され、加算器30Bでの加算結果である電流制御値Eが、モータ駆動信号としてモータ駆動回路37に入力される。モータ20のモータ電流値iはモータ電流検出回路38で検出され、モータ電流値iは減算器30Aに入力されてフィードバックされる。

10 【0005】モータ駆動回路37の構成例を図22に示して説明すると、モータ駆動回路37は加算器30Bからの電流制御値Eに基づいて電界効果トランジスタ(FET)FET1~FET4の各ゲートを駆動するFETゲート駆動回路371、FET1~FET4で成るHブリッジ回路、FET1及びFET2のハイサイド側を駆動する昇圧電源372等で構成されている。FET1及びFET2は、電流制御値Eに基づいて決定されるデューティ比D1のPWM(パルス幅変調)信号によってON/OFFされ、実際にモータ20に流れる電流Irの大きさが制御される。FET3及びFET4は、デューティ比D1の小さい領域では所定1次関数式($a \cdot b$ を定数として $D2 = a \cdot D1 + b$)で定義されるデューティ比D2のPWM信号で駆動され、デューティ比D2も100%に達した以降、PWM信号の符号により決定されるモータ20の回転方向に応じてON/OFFされる。例えばFET3が導通状態にあるときは、電流はFET1、モータ20、FET3、抵抗R1を経て流れ、モータ20に正方向の電流が流れる。また、FET4が導通状態にあるときは、電流はFET2、モータ20、FET4、抵抗R2を経て流れ、モータ20に負方向の電流が流れる。従って、加算器30Bからの電流制御値EもPWM出力となっている。また、モータ電流検出回路38は抵抗R1の両端における電圧降下に基づいて正方向電流の大きさを検出すると共に、抵抗R2の両端における電圧降下に基づいて負方向の大きさを検出する。モータ電流検出回路38で検出されたモータ電流値iは、減算器30Aに入力されてフィードバックされる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述のような電動パワーステアリング装置の高出力化の要求に伴い、操舵に対する高級感及びレイアウト性を考慮したサイズの小型化が求められるようになって来た。高級感を得るためには、滑らかな操舵感が得られることが必要である。操舵の滑らかさを阻害する要因の中では、モータの持つトルクリップルが支配的であり、従来モータのトルクリップルを低減し、操舵を滑らかにする対策がなされて来た。しかしながら、従来モータのトルクリップルを低減する技術は、例えばモータを構成するマグネットの中心角を小さくするか、マグネットにスキュー角を付ける等の対策であり、いずれもトルク出力を維持しようとした場

合、モータの体型が大きくなり、小型化の要求に沿わなくなっている。

【0007】一方、従来の電動パワーステアリングでは高出力化と小型化の要求に伴い、ブラシレスモータでは残留磁束密度の高い希土類磁石が使用されている。ブラシレスモータにおいても操舵に対する滑らかな操舵感が必要であるため、モータのトルクリップルとコギングトルクの低減が強く要求される。

【0008】矩形波駆動のブラシレスモータの場合、トルクリップルを低減するために、着磁の磁束密度分布は台形波に近い着磁とスキュー角度の小さいモータが要求される。しかし、かかる要求はモータのコギングトルクの低減に抵触するため、トルクリップルの低減は実際には実現困難である。また、転流位置のズレ（電機子反作用等の要因で、着磁と巻線の相対位置のバラツキ、位置検出精度の影響で）により生じたトルク変化の影響と、転流時の電流変動によるトルク変動等の影響とによる操舵フィーリングの悪化により、高トルク常数のモータの実用性が困難であり、バラツキ、位置検出精度、電流変動等の要求が一層厳しくなる。

【0009】また、正弦波駆動のブラシレスモータの場合、トルクリップルを低減するためにロータの位置検出器の高分解能化が要求され、モータのトルク常数が高いモータでは電機子反作用の影響を補償するため、計算容量が大きくなると共に、補償データ用のメモリ容量が大きくなるなどの理由により、位置検出器とCPUが高価になってしまう問題がある。

【0010】本発明は上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、電動パワーステアリング装置のモータの高出力、小型化を実現することができ、着磁と巻線の相対位置のバラツキや位置検出精度の要求を緩和でき、操舵感を向上させ（トルクリップル感の減少）、装置コストの低減を図るようにした電動パワーステアリング装置の制御装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、ステアリングシャフトに発生する操舵トルクに基いて演算された操舵補助指令値と、モータの電流値とから演算した電流制御値に基いてステアリング機構に操舵補助力を与える前記モータを制御するようになっている電動パワーステアリング装置の制御装置に関するもので、本発明の上記目的は、操舵時のトルクリップル感を抑制制御し得るよう
に、前記モータ（直流モータ又はブラシレスモータ）のトルクリップルをトルク変動対平均トルクの比率の10%以内である制御レベルに抑えるようにすると共に、前記操舵トルクを検出するトルク検出手段のヒステリシス幅が0.3N・m以内で応答周波数が20Hz以上であり、前記制御装置におけるトルク制御の周波数帯域をリ
ップル感として感じない範囲の20Hz以上とすることによって達成される。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明は、コラム式及びピニオン式電動パワーステアリング装置のブラシ付き直流モータ又はブラシレスモータに適用できることは勿論、ラックアシスト式電動パワーステアリング装置のブラシ付き直流モータ又はブラシレスモータにも適用可能である。

【0013】先ずブラシ付き直流モータについて説明する。本発明では、図1に示す制御系としている。即ち、ステアリング装置の操舵補助力のためのモータ100はモータ駆動部101で駆動され、モータ駆動部101はコントロールユニット110で制御され、コントロールユニット110には、トルクセンサからのトルクセンサ信号Tr及び車速検出系からの車速信号velが入力されている。コントロールユニット110はトルクセンサ信号Trを用いて制御を行なうトルク系制御部120と、モータ100の駆動に関連した制御を行なうモータ制御部130とで構成されており、トルク系制御部120にはアシスト量演算部121、微分制御器122、ヨーレート収れん性制御部123、ロバスト安定化補償部124及び加算器125が設けられている。また、モータ系制御部130には、加算器132及び134、補償器133、外乱推定器135、モータ角速度推定部136、モータ特性補償部137が設けられている。

【0014】トルクセンサ信号Trはアシスト量演算部121、微分制御器122及びヨーレート収れん性制御部123に入力され、いずれも車速信号velをパラメータ入力としている。アシスト量演算部121はトルクセンサ信号Trに基づいてアシストトルク量を演算し、トルクセンサ信号Tr及びモータ角速度推定部136からの角速度 ω を入力とするヨーレート収れん性制御部123は、車両のヨーの収れん性を改善するためにハンドルが振れ回る動作に対してブレーキをかけるようになっており、微分制御器122は、ステアリングの中立付近の制御の応答性を高め、滑らかでスムーズな操舵を実現するようになっている。アシスト量演算部121、微分制御器122及びヨーレート収れん性制御部123の各出力は加算器125に入力され、その加算結果がアシスト量としてロバスト安定化補償部124に入力されている。ロバスト安定化補償部124は特開平8-290778号公報に示されている補償部であり、sをラプラス演算子とする特性式 $G(s) = (s^2 + a1 \cdot s + a2) / (s^2 + b1 \cdot s + b2)$ を有し、検出トルクに含まれる慣性要素とバネ要素から成る共振系の共振周波数にピーク値を除去し、制御系の安定性と応答性を阻害する共振周波数の位相のズレを補償するものである。尚、特性式G(s)のa1, a2, b1, b2は、いずれも共振系の共振周波数により決定されるパラメータである。

【0015】また、モータ角速度推定部136は、モータ端子間電圧Vm及びモータ電流値iに基づいてモータ

角速度 ω を推定するものであり、モータ角速度 ω はモータ特性補償部137及びヨーレート収れん性制御部123に入力される。モータ特性補償部137の出力 I_c 及びロボスタ安定化補償部24の出力 I_a は、加算器132で加算(I_r)されて微分補償器等で成る補償器133に入力され、補償器133で補償された電流指令値は加算器134を経てモータ駆動部101及び外乱推定器135に入力される。外乱推定器135は特開平8-310417号公報で示されるような装置であり、モータ出力の制御目標値である加算器134からの電流指令値とモータ電流値 i とに基づいて、制御系の出力基準における希望するモータ制御特性との差を演算してフィードバック制御するようになっており、これによりバッテリー電圧、モータの端子間抵抗、モータのトルク定数などの特性定数が変動しても、希望するモータ制御特性を維持することができ、制御系の安定性を失うことがないようにしている。

【0016】モータ(ブラシ付き直流モータ)の発生するトルクリップルは、通常図2に示すように大きな非線型特性を示す。ここで、図2に現れているトルクリップルを大別すると、図3に示すような磁束ムラ(磁気抵抗変動)によるものと、図4に示すような整流の乱れによるものとがある。磁束ムラの場合、特定のコイルに流れる電流とその時に発生するトルクリップルの関係は正弦波状の非線型なものとなっており、制御可能である場合がある。即ち、モータのトルクリップルをトルクセンサで検出できれば、トルク制御で補正が可能となるトルクリップルの範囲が存在する。一方、整流の乱れによる場合は、整流作用自体が一種のスイッチ動作であるため、正確に制御することは困難である。本発明ではこの点に着目し、整流の乱れが原因で発生するトルクリップルを極力減らし、磁束ムラが原因で発生するトルクリップルは制御できるレベル(10%以内)まで許容し、ヒステリシスが少ない図5の“A”で示すようなトルクセンサ(0.3N・m以内)を用いてトルクリップルを検出し、制御系でその影響を補正することにより、モータを必要以上に大きくすることなしに、トルクリップルを低減することが可能である。また、磁束ムラによるトルクリップルの場合、30Hz以上の周波数になると人には殆ど感じにくくなるため、制御系の周波数帯域を少なくとも20Hz以上に設定することにより、滑らかな操舵感を実現できる。

【0017】トルクリップル発生の一要素としては、マグネットの有効角、スキュー精度、ギャップに起因する磁気抵抗変動と、コミュテータ及びマグネットの位置関係に起因する進角のズレと、コミュテータ、ブラシ、精度や材質等に起因する整流の乱れとがあり、整流の乱れは制御系では補正できないので、モータの設計技術でトルクリップルを限りなくゼロに近づける(例えば1%以下)。磁気抵抗変動と進角のズレは、トルクセンサのヒ

ステリシスが0.3N・m以内ならば制御系で補正が可能であり、トルクリップルは磁気抵抗変動と進角のズレを合わせて10%以下で問題は生じない。

【0018】以下、本発明の実施例を詳細に説明する。

【0019】ドライバはハンドルを通して、0.3N・m以上のトルク変動を約30Hz以下の周波数まで感じることができる。本発明では、以下の条件を設定することにより、トルクリップルが発生しないようにすることを目的としている。また、モータを設計する上で、整流により発生するトルクリップルを極力減らすようにする。整流の乱れの問題は主にブラシとコミュテータに関わる設計上の問題であり、例えばコミュテータの表面に酸化皮膜を形成させ、酸化皮膜を破壊することにより微小操舵の際のアーク電流を消費させるような対策を行なう。一方、磁束ムラによって発生するトルクリップルを制御系で補正するとした場合、従来装置の設計の場合に比べてトルク定数(発生トルク/電流)が大きくなる。つまり、マグネットの中心角を広く設定することによりスキュー角を小さくでき、エアギャップを小さくすることにより磁束密度が大きくなり、モータのトルク定数が大きくなる。そこで、従来と同様のトルク定数を発生させようとした場合、モータのロータの長さやマグネット長を短くできる。これに伴い、コイル長も短くなるため、出力をアップできる。つまり、モータを小型化できる上に出力もアップできる。

【0020】次に、磁束ムラにより発生するトルクリップルを制御する方法について説明する。特定のコイルとトルクリップルの関係は非線型であるが、制御可能とすることが設計上可能である。この場合、電気角に対する転流タイミングを調整し、トルクリップル波形を正弦波状にすることにより達成できる。従って、非線型性が非常に大きくない限り、トルクリップルをトルクセンサ

(トルク検出手段)で検出できれば制限可能である。トルクリップルを検出し制御するためには、トルクセンサの検出ヒステリシスを目標とするトルクリップル以下に設定する必要がある。トルクリップルはハンドル軸上で0.4N・m以上あると、ドライバに滑らかさがないと認識されることが実験より分った。従って、トルクセンサの検出ヒステリシスを0.3N・m以下にすることが必要である。

【0021】本発明ではブラシ付き直流モータの整流ノイズを抑えるために、その内部抵抗を0.15Ω以下に設定する。図6は直流モータ200を示す縦断面図であり、201はブラケット、202はフレームであり、ブラケット201及びフレーム202には前後のボールベアリング203、204を介して、出力軸205が回転自在に支持されている。出力軸205には、フレーム202側に電機子鉄心と巻線とから成るアーマチュア(回転子)206が外嵌・固着されている。また、フレーム202の内周面には、アーマチュア206を囲繞する状

態で、界磁用の永久磁石208が固着される一方、ブラケット201には、コミュテータ207に摺接するブラシ209と、ブラシ209をコミュテータ207に押圧するブラシスプリング210が保持されている。211はブラシホルダであり、212は図示しないコントローラからの電力供給線である。

【0022】図7にその斜視を示すように、コミュテータ207は純銅製の多数個のセグメント220を放射状に配置して樹脂モールドしたものであり、各セグメント220間には所定幅のスリット221が形成されている。ブラシ209は、銅とカーボンとを主成分とするいわゆる金属黒鉛質ブラシであり、コミュテータ207の外周面に対して直角に押圧されている。また、ブラシスプリング210には、ブラシ209の摩耗状態に拘らず一定の押圧力Fを発生するべく、弦巻バネ等の定張カスプリングが用いられている。ブラシ209にはカーボン含有率が40%のものが用いられる一方、ブラシ209のコミュテータ207に対する押圧力Fが160gfに設定されている。コントローラにより直流モータ200に駆動電流が出力され、アーマチュア206の回転に伴ってコミュテータ207が左回転すると、図8に示すようにブラシ209の摺接端面が図中右方のセグメント220aから離れ、その瞬間にアーク電流230がブラシ209とセグメント220aとの間に発生する。ところが、本発明では、セグメント220の表面に酸化皮膜231が形成されているため、アーク電流230の大部分はこの酸化皮膜231を破壊することにより消費されてしまい、ブラシ209とセグメント220の間にはアーク引力が殆ど発生しない。これにより、コミュテータ207は短いサイクルで交替的に回転しなくなるために電流振動が小さくなり、ミドルステアリングシャフトやアップステアリングシャフトの振動のほか、減速機内での異音やステアリングホイールの振動も無視し得るレベルに抑えられる。

*【0023】ブラシ209のカーボン含有率やブラシ209のコミュテータ207に対する押圧力Fを種々変化させて下記結果を得た。まずブラシ209における電圧降下と電流振動との関係については、図9に示すように電圧降下が0.3V以上であれば電流振動も振幅が1A程度となり、ステアリングシャフトの振動を引き起こす直流モータ200のトルク変動が顕著に低下する。次に、0.3V以上の電圧降下を得るべく、ブラシ209のカーボン含有率を5%ずつ増減させたところ、図10に示すように40%にしたところでこれを達成できる。尚、セグメント220はその表面に酸化皮膜231を形成させると摩耗の進行が早くなるため、カーボン含有率を徒に高めることは好ましくない。また、0.3V以上の電圧降下を得るべく、押圧力Fを20gfずつ増減させたところ、図11に示すように160gfにしたところでこれを達成した。

【0024】更に、トルクリップルはその性質上モータの回転速度×スロット数の周波数で発生する。そして、5Hz-30Hzの周波数でドライバに認識され易いことが実験で分っている。従って、約5Hz-30Hzの間で制御ゲインを大きく設定し、トルクリップルを抑圧することが重要である。

【0025】本発明では、他の性能に影響を及ぼさずに上記周波数帯域の仕様を満足する図1の制御系について説明する。ここでは、ロバスト安定化補償部124と位相進み補償器（補償器133）で行なう例を示す。説明を容易にするため、アシスト特性を単一ゲインKとし、コントローラと機械系の閉特性は近似的に下記数1の特性となる。数1において、sはラプラス演算子であり、a1, a2, b1, b2, b3は共振系の共振周波数により決定されるパラメータである。

【0026】

【数1】

$$G_{OP}(s) = \frac{(s+a1)b3}{(s+a2)(s^2+b1s+b2)} \cdot K$$

ここで、数1の分母の2次式は、モータ100の摩擦及び慣性が補償された後の機械系の特性をロバスト安定化補償部124で補償した後の特性であり、残る分子と分母の1次の項は位相進み補償である。数1の開特性は数※

※2となる。数2において、c0, c1, c2は共振系の共振周波数により決定されるパラメータである。

【0027】

【数2】

$$G_{cl}(s) = \frac{(s+a1)b3}{s^3+c0 \cdot s^2+c1 \cdot s+c2} \cdot K$$

ここで、c0, c1, c2は $(s+a2) \times (s^2+b1 \cdot s+b2) + (s+a1) \cdot b3 \cdot K$ を展開した項である。

【0028】一方、目標とする閉特性は、5Hz-30Hzまでの応答性を得られるように次のように定める。

数3において、d0, d1, d2, d3は共振系の共振周波数により決定されるパラメータである。

【0029】

【数3】

11

12

$$G_{ctd}(s) = \frac{(s+d3)b3}{(s+d0)(s^2+d1s+d2)} \cdot K$$

数2と数3が一致した場合、目標とする応答特性が得られる。従って、 $c0$ 、 $c1$ 、 $c2$ が $(s+d0) \times (s^2+d1s+d2)$ を展開した項と一致させれば良い。 $d3$ は、分子の一致条件で決まるため、条件に合うようにパラメータ $d0$ 、 $d1$ 、 $d2$ を決めれば良い。このようなパラメータ $d0$ 、 $d1$ 、 $d2$ は代数的に下記数4の連立方程式を解けば求まる。

【0030】

【数4】 $a1 = d3$

$c0 = d1 + d0$

$c1 = d2 + d0 \cdot d1$

$c3 = d0 \cdot d2$

実際には、ゲイン K はトルク及び車速の関数で変動するため、ゲイン K の変動を考慮し、上記パラメータ設定を行わなければならない。上記帯域チューニングは本例が唯一の方法ではなく、 H 無限大制御の設計問題として扱っても良く、或いは3次以上の位相進み／遅れ補償を用いても解を得ることはできる。数3で示す帯域特性を持たせることにより、定常ゲインはアシスト特性のゲインで決まるが、特定の帯域幅（本例では $5\text{Hz} - 30\text{Hz}$ ）では、アシスト特性ゲインに関わらず外乱トルクを抑圧するため、トルクリップルをこの帯域で補償することができる。

【0031】次にブラシレスモータの場合について説明する。本例では矩形波駆動で説明するが、正弦波駆動についても同様に適用できる。

【0032】本発明では図12に示すように、トルク信号 T_r を用いたトルク系制御部とブラシレスモータ電流系制御部とで構成される。モータ角速度検出部213はブラシレスモータ210のロータ位置検出信号より求められるものであり、例えば特願平10-232031号で示されるような装置である。位置検出信号は磁気式、電磁式、光学式等の低い分解能又は高分解能のロータ位置検出器212で得られる信号である。例えばホールIC、アブソリュート型レゾルバ、エンコーダ等である。

【0033】ロバスト安定化補償部203は特開平8-290778号に示されている補償器であり、伝達関数 $G(s) = (s^2 + a1 \cdot s + a2) / (s^2 + b1 \cdot s + b2)$ を有し、検出トルク系に含まれる慣性要素とバネ要素から成る共振系の共振周波数にピーク値を除去し、制御系の安定性と応答性を阻害する共振周波数の位相のずれを補償するものである。モータ角速度検出部213からの角速度 ω はヨーレート収れん性制御部206及びロストルク／慣性補償部207に入力され、各出力が加算器205で加算される。

【0034】ブラシレスモータ210が発生するトルクリップルは通常図13～図16に示す4種類に分類され

る。図13はコギングトルクを示し、図14はトルク脈動を示し、図15はトルク変化を示し、図16はトルク変動を示している。トルク変化は、矩形波駆動の転流時に転流位置がずれた場合に生じるものである。本発明では、電機子反作用で転流位置のずれによる変化を抑えるために、図17に示すようにロータの回転角度信号を用いてモータの4つの運転状態と、電機子反作用の影響を示す値により、転流の位置ずれを補償する。その詳細は特願平11-8888号に記述されている。着磁と電機子巻線の相対位置のバラツキ、位置検出信号の精度等の影響によるトルク変化は着磁精度の向上、位置検出精度の向上で抑える。

【0035】トルク変動は矩形波駆動の転流時に転流電流の変化率が一致しないため、モータの電流の変動が発生し、その電流変動により生じたものである。本発明では、転流時のトルク変動を抑えるために図18及び図19に示すように、転流時にPWMデューティを制御することにより転流時の電流変化率を一致させ、電流変動を小さくし、トルク変動を抑える。その方法によって、1個の電流センサで、電流変動によるトルク変動を低減することを実現できる。その詳細は特願平10-160641号に記述されている。

【0036】トルク脈動は主に着磁の形状と、着磁又は巻線のスキューとの度合いによるものであり、トルク脈動とコギングトルクの両立は極めて困難である。特に電動ステアリングの場合、センター付近ではアシスト力が小さいため、コギングトルクが大きくなるとセンター付近の操舵フィーリングが悪化する。コギングトルクは近似正弦波の着磁、スキュー等の処理で低減することができるが、逆にトルク脈動は大きくなる。3相モータの場合、約12%のトルク脈動が発生する。分割コアの場合はコギングトルクを小さくできるが、トルク脈動を極力低減するため、約120度の矩形波着磁が必要である。しかし、このような着磁は実現上困難である。特に5相ブラシレスモータの場合、トルク脈動を5%以下に抑えるため、144度の矩形波着磁が必要である。

【0037】本発明は、上記トルクリップルを極力低減することを基本にするのではなく、トルクリップルの周波数領域を分けて対策することを基本にしている。図15及び図16に示すように、トルク変化及びトルク変動には主に高い周波数成分が含まれているため、トルク伝達系にダンピング材を入れることにより高い周波数成分を吸収する。センター付近の操舵フィーリングを向上するため、コギングトルクをハンドル軸換算で $0.3\text{N} \cdot \text{m}$ 以下に抑える必要がある。図14に示すように、トルク脈動には主に低い周波数成分が含まれているため、トルクセンサで検出してトルク制御系の制御周波数帯域を

上げることにより、低い周波数成分をトルク制御系で抑えるようにする。トルク脈動を10%以下まで許容する。

【0038】次に、トルク脈動の制御方法を詳細に説明する。

【0039】本発明は、トルク脈動（トルクリップル感）を感じないようにすることを目的としている。ドライバはハンドルを通して、ハンドル軸上の0.3N・m以上のトルク脈動を60Hz以下の周波数まで感じることができる。従って、トルクセンサの検出ヒステリシスを0.3N・m以下（図5に示す $A \leq 0.3 \text{ N} \cdot \text{m}$ ）にすることが必要であり、トルク制御系の周波数帯域を少なくとも20Hz以上、100Hz以下に設定することが必要である。

【0040】トルク脈動の発生頻度は、ブラシレスモータの回転速度と1回転の転流数の積に比例し、その発生頻度は5Hz～60Hzの周波数でドライバに認識され易いことが実験で分かっている。従って、約5Hz～60Hzの間で制御ゲインを大きく設定し、外乱トルク（トルク脈動）に対する感度を低減し、トルクリップル感を抑制することが重要である。

【0041】本発明では図12に示すように、他の性能に影響を及ぼさずに上記周波数帯域の仕様を満足する制御系を構成している。ここでは、ロバスト安定化補償部203と位相（進み／遅れ）補償部204で行う例を示している。アシスト特性のゲインをKとし、コントローラと機械系の開ループ伝達特性は近似的に数5のようになる。 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 b_3 は共振系の共振周波数により決定されるパラメータである。

【0042】

$$\text{【数5】 } G_{op}(s) = (s + a_1) \cdot b_3 \cdot K / \{ (s + a_2) \cdot (s^2 + b_1 \cdot s + b_2) \}$$

ここで、数5の分母の2次式は、ブラシレスモータ210の摩擦及び慣性が補償された後の機械系の特性をロバスト安定化補償部203で補償した後の特性であり、残る分子と分母の1次の項は位相進み／遅れ補償である。数5の開ループ伝達特性は下記数6となる。数6において、 c_0 、 c_1 、 c_2 は共振系の共振周波数により決定されるパラメータである。

【0043】

$$\text{【数6】 } G_{cl}(s) = (s + a_1) \cdot b_3 \cdot K / \{ (s + a_2) \cdot (s^3 + c_0 \cdot s^2 + c_1 \cdot s + c_2) \}$$

ここで、 c_0 、 c_1 、 c_2 は $(s + a_1) \cdot (s^2 + b_1 \cdot s + b_2) + (s + a_1) \cdot b_3 \cdot K$ を展開した項である。

【0044】一方、目標とする閉ループは、5Hz～60Hzまでの応答性、外乱抑制機能を得られるように次の数7で決める。数7において、 d_0 、 d_1 、 d_2 、 d_3 は共振系の共振周波数により決定されるパラメータで

ある。

【0045】

$$\text{【数7】 } G_{cl}(s) = (s + d_3) \cdot b_3 \cdot K / \{ (s + d_0) \cdot (s^2 + d_1 \cdot s + d_2) \}$$

数6及び数7が一致した場合、目標とする応答性、外乱抑制機能を得られる。従って、分母の係数 c_0 、 c_1 、 c_2 は $(s + d_0) \cdot (s^2 + d_1 \cdot s + d_2)$ を展開した項と一致させることで決まり、分子の係数 a_1 は d_3 と一致することで決まる。実際に、ゲインKは操舵トルクと車速の関数で変化するため、ゲインKの変動を考慮し、上記パラメータの設定を行わなければならない。又、本例は唯一の方法ではなく、H ∞ 制御の設計問題として扱っても、或いは3次以上の位相進み／遅れ補償を用いても解くことができる。

【0046】数7で示される周波数帯域を持たせることにより、定常ゲインはアシストの定常ゲインで決まる。特定周波数帯域（本例では5Hz～60Hz）では、アシスト特性の動態ゲインに拘らず外乱トルクを抑制するため、トルクリップルをこの周波数領域で補償することができる。

【0047】

【発明の効果】本発明では、電動パワーステアリング装置の直流モータ又はブラシレスモータのトルクリップルの要因を解析し、各要因に応じた手段を講じることによってトルクリップルを低減するようにしている。また、本発明では、矩形波駆動ブラシレスモータのトルク変化とトルク変動を抑えながら、抑え切れない高周波部分をトルク伝達系のダンピング効果で吸収する。トルク脈動のような低周波成分のものをトルク制御系が制御できるレベルまで許容し、ヒステリシスが少ないトルクセンサを用いてトルクリップルを検出し、制御系でその影響を抑えるようにしている。このため、直流モータ又はブラシレスモータの高出力、小型化を実現でき、コギングトルクを犠牲にしなくても、低コストでトルクリップルを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の構成例を示すブロック図である。

【図2】ブラシ付き直流モータの出力トルク特性の一例を示す図である。

【図3】ブラシ付き直流モータの出力トルク特性に含まれる磁束ムラ（磁気抵抗変動）を示す図である。

【図4】ブラシ付き直流モータの出力トルク特性に含まれる整流ズレを示す図である。

【図5】トルクセンサの特性例を示す図である。

【図6】ブラシ付き直流モータの一例を示す縦断面図である。

【図7】コミュテータとブラシとの摺接部位を示す斜視図である。

【図8】コミュテータとブラシの作用を示す説明図である。

15

【図9】電圧降下と電流振動との関係を示すグラフである。

【図10】ブラシのカーボン含有率と電圧降下との関係を示すグラフである。

【図11】ブラシのコミュテータに対する押圧力Fと電圧降下の関係を示すグラフである。

【図12】本発明の他の実施例を示すブロック図である。

【図13】コギングトルクの一例を示す波形図である。

【図14】トルク脈動の一例を示す波形図である。

【図15】トルク変化の一例を示す波形図である。

【図16】トルク変動の一例を示す波形図である。

【図17】転流の位置ずれを補償する回路の一例を示すブロック図である。

【図18】トルク変動を低減する回路の一例を示すブロック図である。

【図19】トルク変動を低減する回路の一例を示すブロック図である。

【図20】電動パワーステアリング装置の一例を示すブロック構成図である。

16

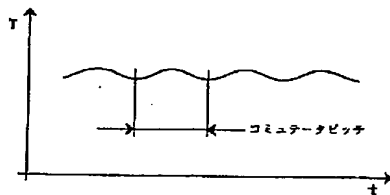
【図21】コントロールユニットの一般的な内部構成を示すブロック図である。

【図22】モータ駆動回路の一例を示す結線図である。

【符号の説明】

1	操向ハンドル
5	ピニオンラック機構
10	トルクセンサ
12	車速センサ
20、100、200	モータ
30、30A	コントロールユニット
120	トルク系制御部
121、200	アシスト量演算部
122	微分制御器
123、206	収れん制御部
124、203	ロバスト安定化補償部
130	モータ制御部
133	補償器
135	外乱推定器
136、213	モータ角速度推定部
20 137	モータ特性補償部

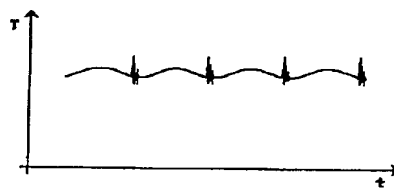
【図3】



【図13】

コギングトルク

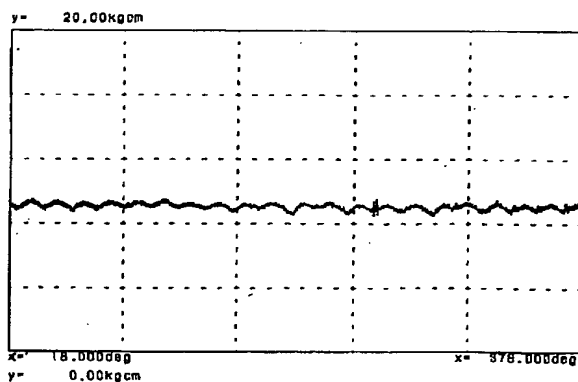
【図4】



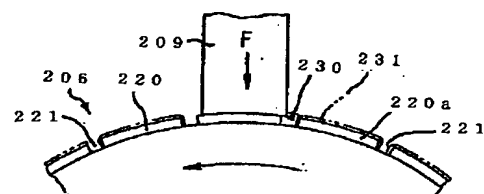
【図14】

トルク脈動

【図2】



【図8】



【図15】



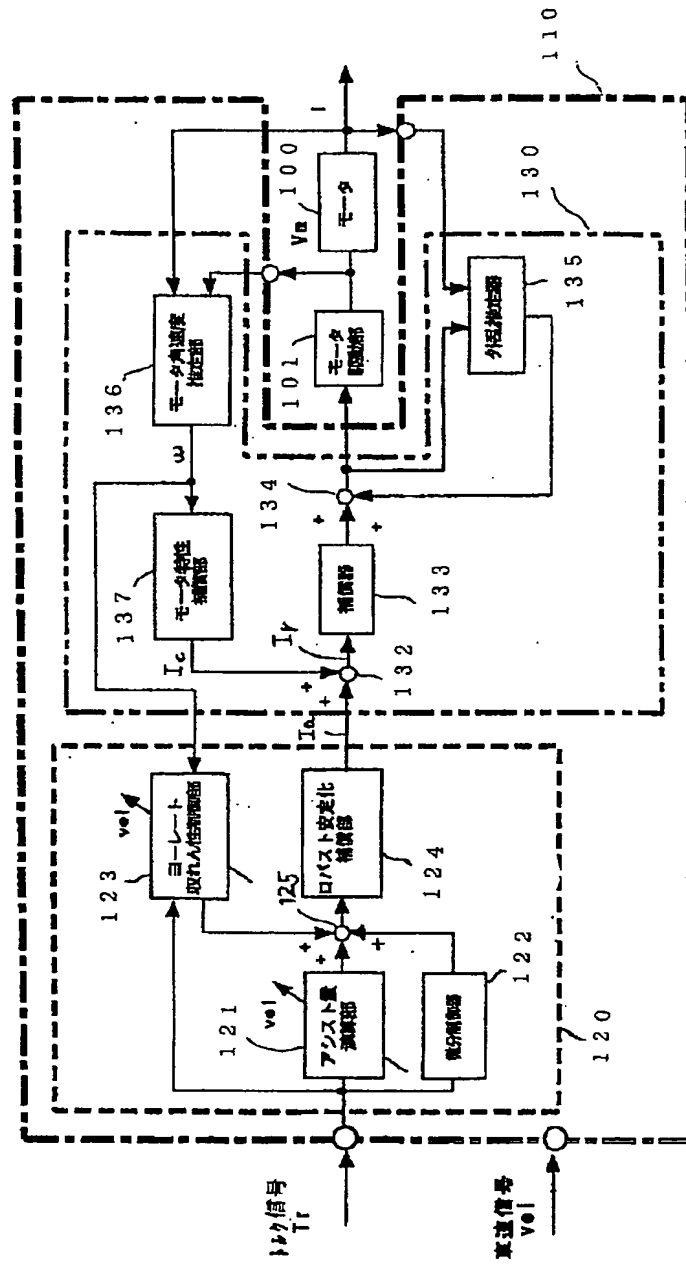
トルク変化

【図16】

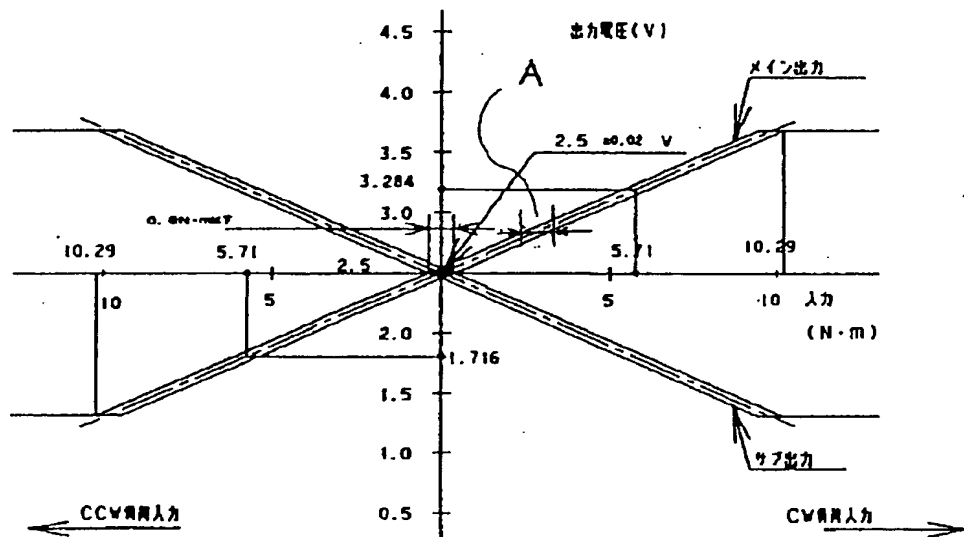


トルク変動

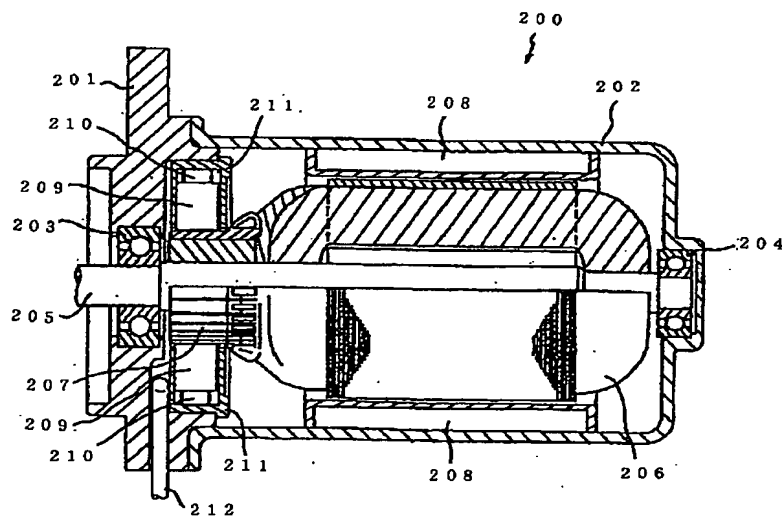
【図1】



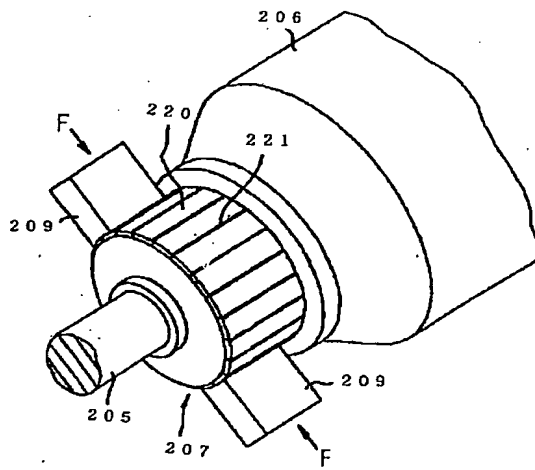
【図5】



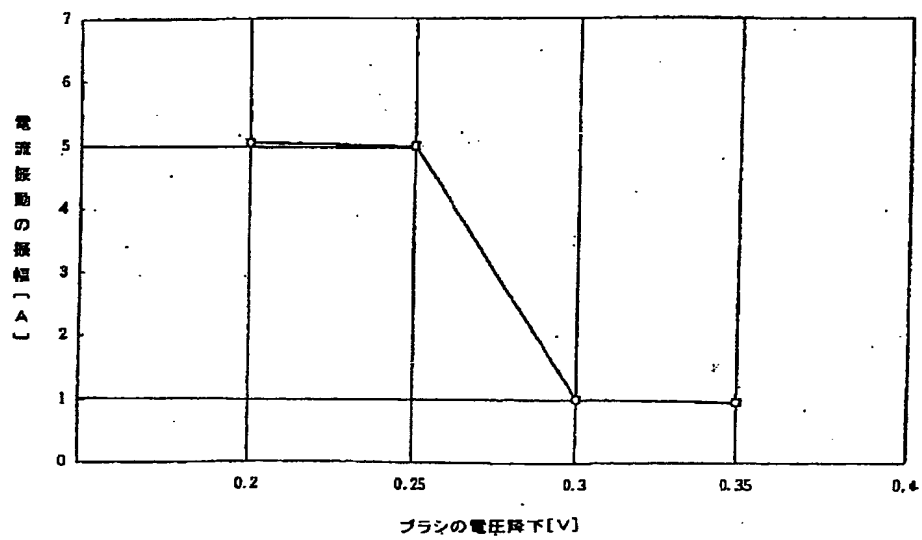
【図6】



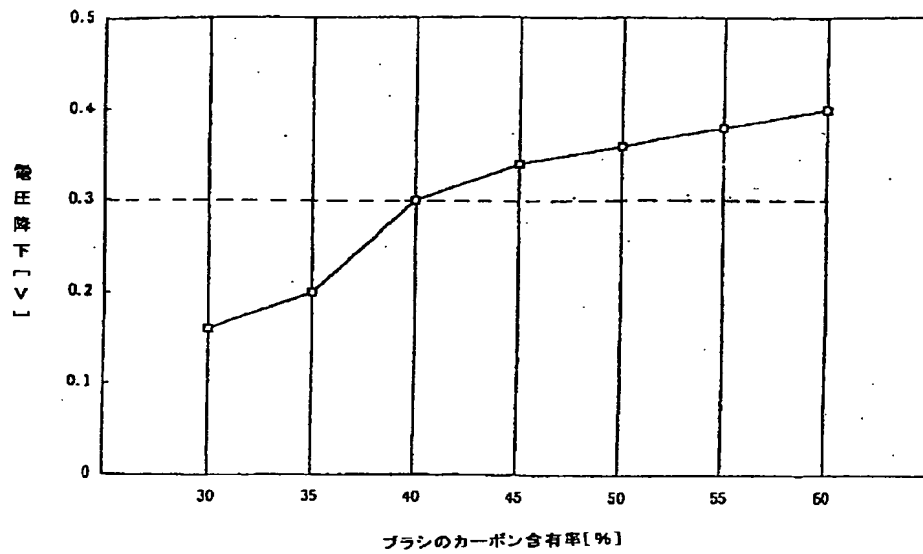
【図7】



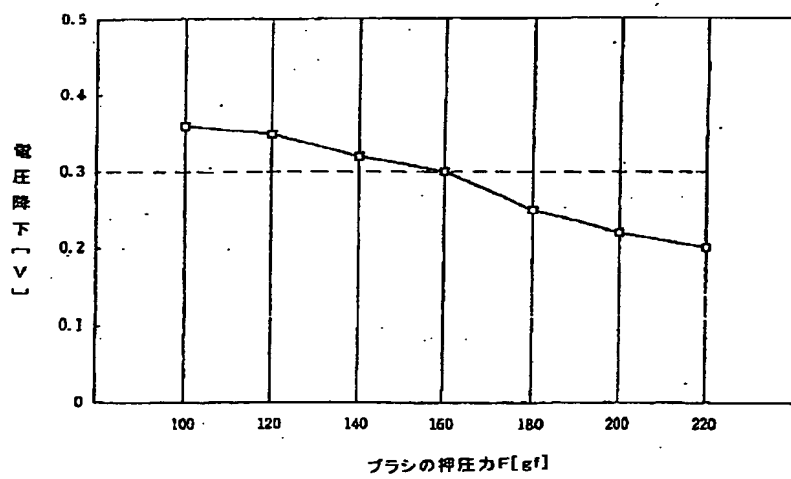
【図9】



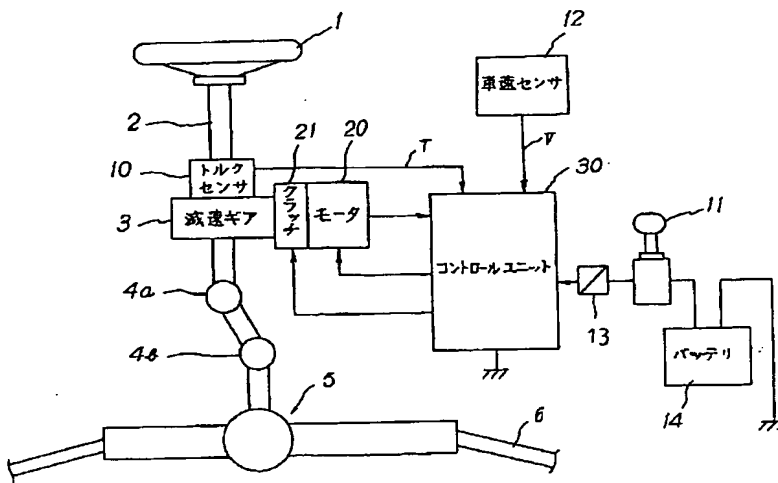
【図10】



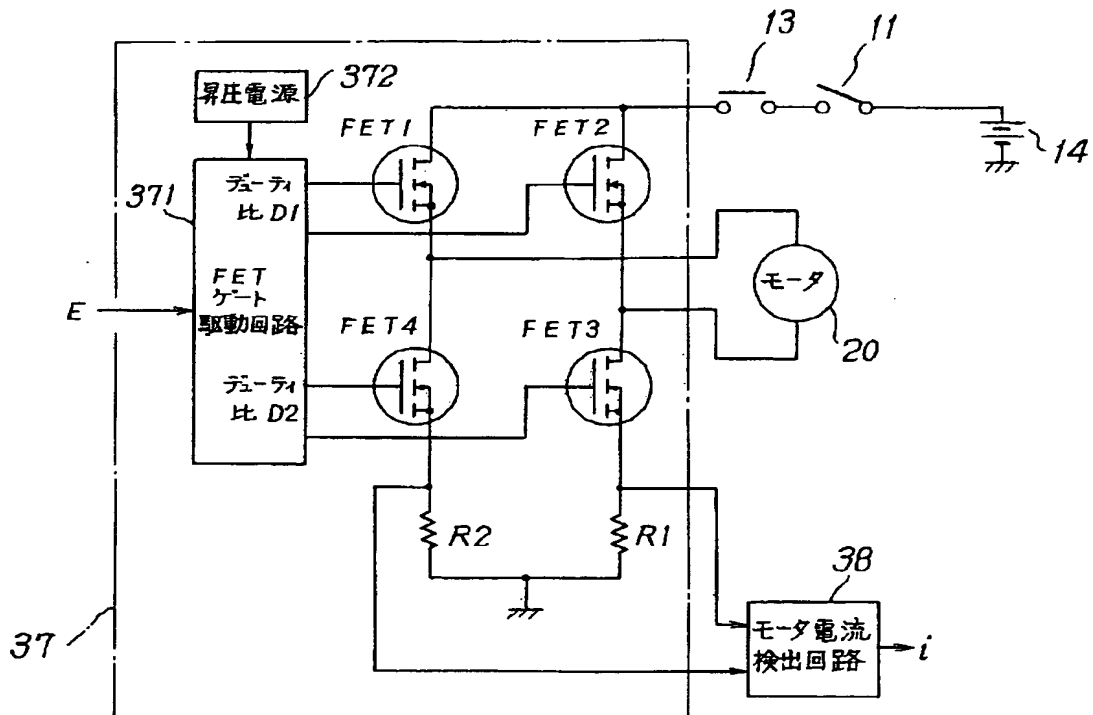
【図11】



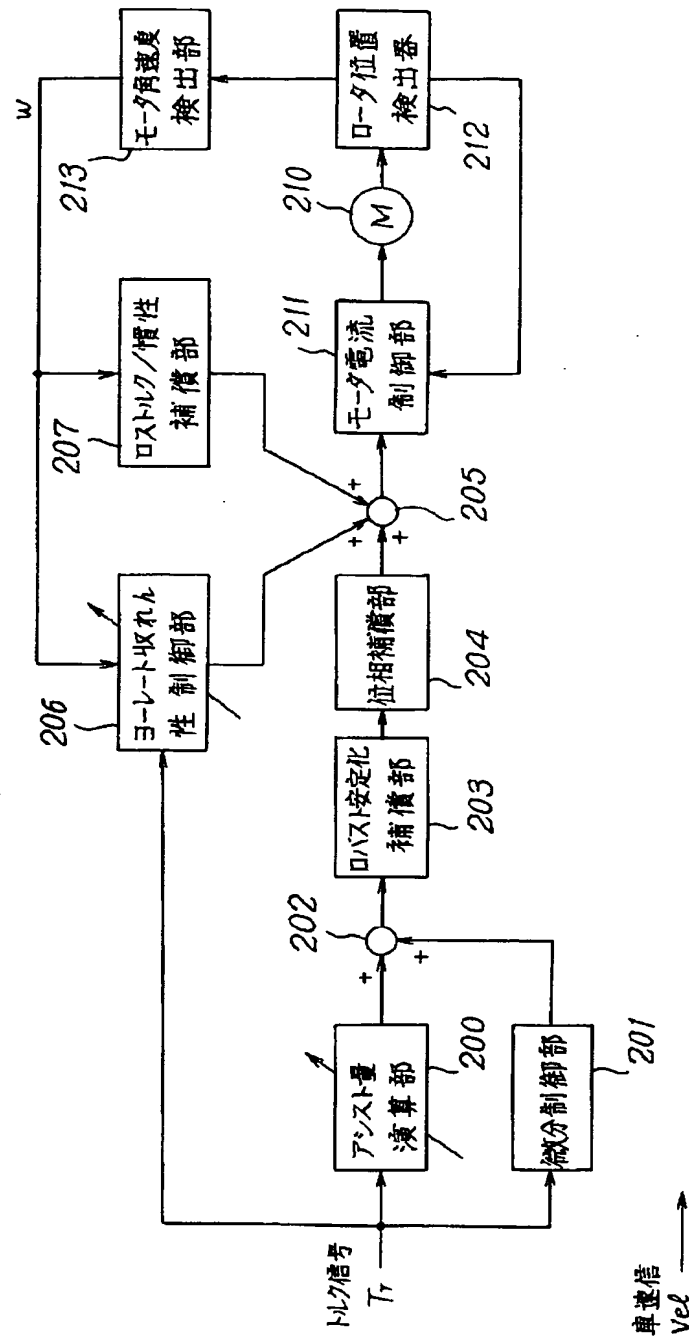
【図20】



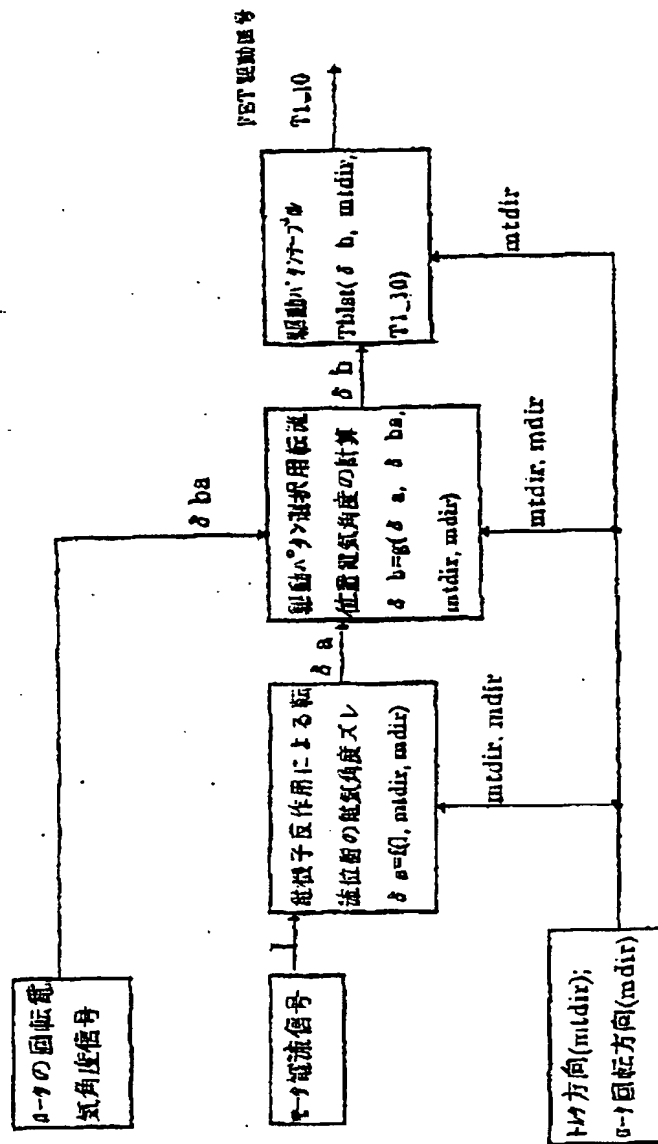
【図22】



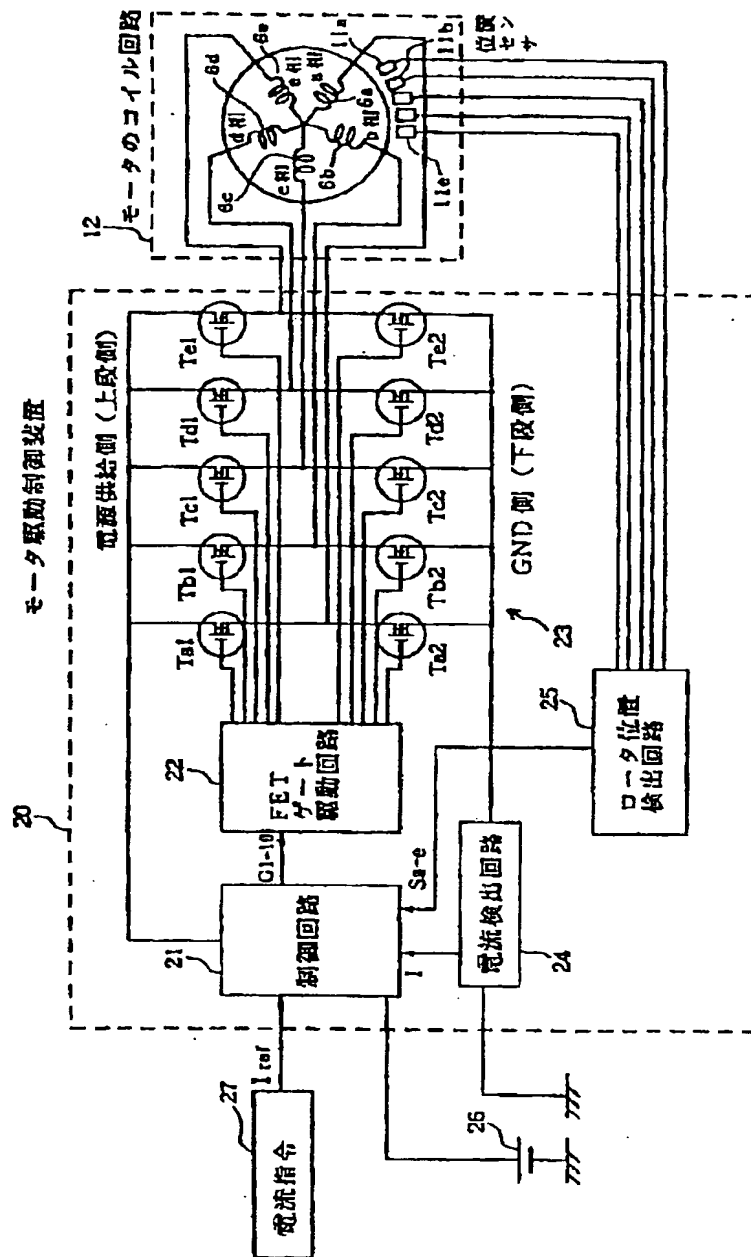
【図12】



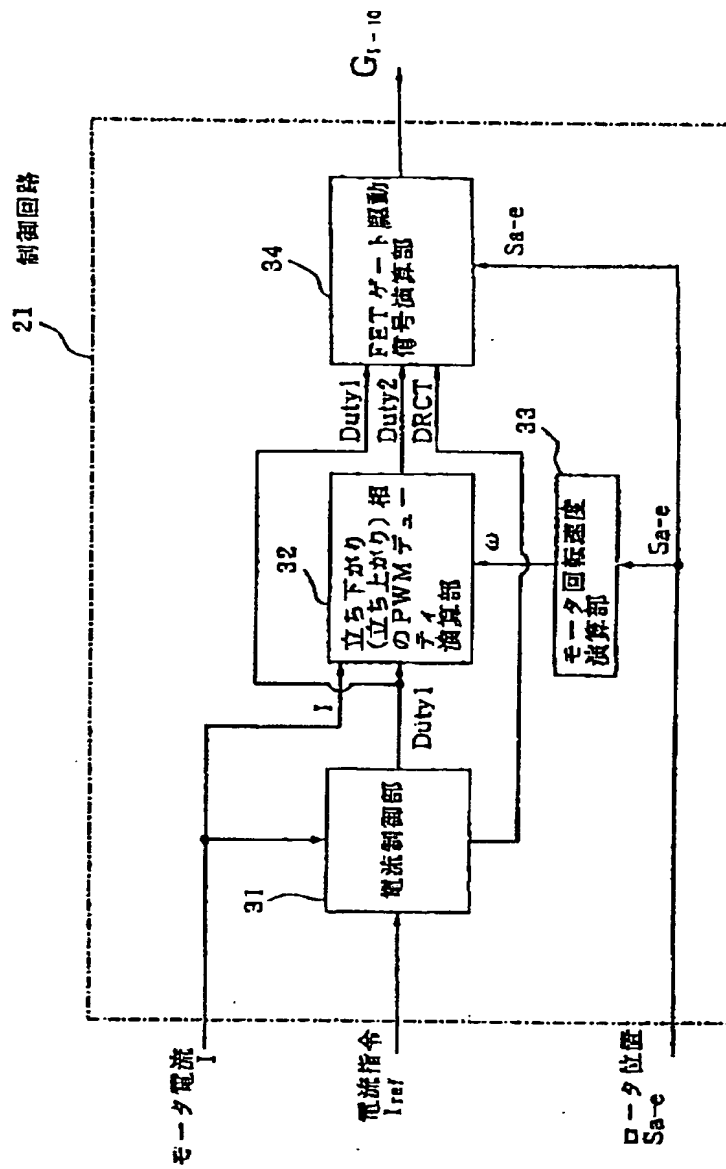
【図17】



【図18】



【図19】



[illegible]

B62D 6/00

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ ~~BLACK BORDERS~~
- ☐ ~~IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES~~
- ☒ ~~FADED TEXT OR DRAWING~~
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.